

# Estudo da Escalabilidade da Implementação do Modelo IntServ em Linux

Elisabete Reis<sup>1,2</sup>  
[elreis@dei.uc.pt](mailto:elreis@dei.uc.pt)

Edmundo Monteiro<sup>2</sup>  
[edmundo@dei.uc.pt](mailto:edmundo@dei.uc.pt)

<sup>1</sup> Instituto Superior de Contabilidade e Administração  
Instituto Politécnico de Coimbra  
Quinta Agrícola, Bencanta  
2040-316 Coimbra  
<http://www.iscac.pt>

<sup>2</sup> Laboratório de Comunicações e Telemática  
CISUC / DEI  
Universidade de Coimbra  
Pólo II, Pinhal de Marrocos, 3030-290 Coimbra  
<http://lct.dei.uc.pt>

## Resumo

A crescente utilização de aplicações de tempo real com requisitos rígidos de largura de banda, atraso e perdas, fez com que a *Internet Engineering Task Force* (IETF) tivesse sentido a necessidade de alargar o modelo actual da Internet, a um modelo com capacidade de suporte, em simultâneo e na mesma infra-estrutura, de aplicações com exigências de tempo real, elásticas e aplicações clássicas. Desta iniciativa do IETF resultou uma proposta, designada por modelo ou arquitectura *Integrated Services* (IntServ), onde são especificados dois níveis de serviço com características de qualidade de serviço (QoS) distintas: o Serviço Garantido (*Guaranteed Service*) e o Serviço de Carga Controlada (*Controlled-load Service*). O modelo IntServ utiliza o protocolo de sinalização e reserva de recursos *Resource Reservation Protocol* (RSVP) e um conjunto de mecanismos de controlo de tráfego: controlo de admissão, classificador, policiamento e escalonador de pacotes.

Tem-se discutido se o modelo IntServ é uma solução escalável, especialmente em redes alargadas de alta velocidade. A quantidade de recursos que um encaminhador necessita para manter e processar a informação de estado do protocolo RSVP aumenta linearmente com o número de fluxos suportados e com requisitos de QoS dos fluxos. Por outro lado, várias medições mostram que, na Internet, a maioria das ligações extremo-a-extremo são de curta duração o que faz com que estejam normalmente presentes vários milhares de ligações activas num encaminhador de *core* e que exista uma grande dinâmica no estabelecimento de novas ligações. Consequentemente, um grande número de fluxos IntServ numa ligação de alto débito pode representar uma carga excessiva para os encaminhadores no percurso.

O objectivo deste trabalho é a avaliação do desempenho e da capacidade de encaminhadores baseados no sistema operativo Linux no suporte o Serviço Garantido, tendo a escalabilidade sido o principal factor em avaliação. O Serviço Garantido foi escolhido por ser o mais exigente dos serviços disponibilizados pelo modelo IntServ. Da avaliação concluiu-se que a implementação IntServ incluída no sistema operativo Linux revela alguma dificuldade no tratamento do tráfego quando na presença de um número elevado de fluxos com tamanhos de pacote pequenos.

## Palavras-chave

Qualidade de Serviço (QoS), Serviços Integrados (IntServ), Serviço Garantido, Escalabilidade, Linux

## 1. Introdução

O surgimento de novas tecnologias de rede de alto débito e a crescente utilização de aplicações de multimédia de tempo real com exigências de desempenho rígidas levou a *Internet Engineering Task Force* (IETF) a propor o modelo *Integrated Services*<sup>1</sup> (IntServ) [Braden94]. O grande desafio deste modelo consiste no suporte simultâneo de aplicações muito diversas, desde as aplicações de tempo real (ex. vídeo conferência), às aplicações clássicas (ex. Telnet, FTP, HTTP), passando pelas aplicações elásticas (ex. vídeo e voz comprimidos).

O modelo IntServ faz o tratamento individualizado de cada fluxo ao longo de todo o percurso na rede e dá às aplicações a possibilidade de escolher de entre vários níveis de QoS no estabelecimento dos seus fluxos: o Serviço Garantido (*Guaranteed Service*) [Shenker1997] caracterizado por garantias estritas de largura de banda, limites firmes de atraso e ausência de perdas; o Serviço de Carga Controlada (*Controlled-load Service*) [Wroclawski1997] que se aproxima a um serviço *best-effort* numa rede não congestionada e; o serviço *best-effort*.

Os módulos funcionais que implementam os mecanismos de controlo de tráfego do modelo IntServ são: escalonador, controlo de admissão, classificador, policiamento e reserva de recursos. O escalonador garante, em colaboração com os restantes mecanismos de controlo de tráfego, o serviço durante todo o tempo de vida dos fluxos das aplicações, servindo os fluxos com uma prioridade adequada ao serviço solicitado. O *Resource Reservation Protocol* (RSVP) [Braden1997] é o protocolo de sinalização usado para reserva de largura de banda e espaço de armazenamento ao longo do caminho de dados.

Embora os serviços suportados pelo modelo IntServ sejam de grande valor comercial para os fornecedores de serviço Internet (ISPs) e para os próprios utilizadores, os custos de desempenho resultantes da sua implementação, devido à necessidade de controlo adicional e à sobrecarga de processamento de dados, pode resultar num impacto negativo no desempenho global dos encaminhadores com suporte de IntServ. Assim, o maior desafio à ampla divulgação do modelo IntServ prende-se com a sua escalabilidade, especialmente em redes de *backbone* de alto débito, onde podem estar presentes vários milhares de fluxos.

O objectivo deste trabalho é a avaliação do desempenho e da capacidade de encaminhadores baseados no sistema operativo Linux no suporte o Serviço Garantido, tendo a escalabilidade sido o principal factor em avaliação. O Serviço Garantido foi escolhido por ser o mais exigente dos serviços disponibilizados pelo modelo IntServ.

O trabalho enquadra-se num trabalho de âmbito mais vasto em curso no LCT que visa a avaliação completa da implementação Linux do Serviço Garantido. Foram conduzidos vários outros grupos de experiências, nomeadamente, *testes de desempenho*, avaliando o serviço fornecido aos fluxos sob diferentes cargas na rede, *testes de eficácia* na presença de tráfego do Serviço Garantido não-conforme às especificações do serviço e *testes de estabilidade* com vários tipos de tráfego TCP e UDP e diversos tamanhos de pacote. Em [Reis2001] são descritos os resultados preliminares de alguns destes testes.

Este artigo está organizado do seguinte modo: na Secção 2 é feita uma breve descrição do ambiente de teste utilizado na experimentação; na Secção 3 são apresentadas as experiências realizadas e feita a discussão e análise dos resultados; para finalizar, a Secção 4, contém as principais conclusões e a identificação dos assuntos que serão tratados em trabalho futuro.

---

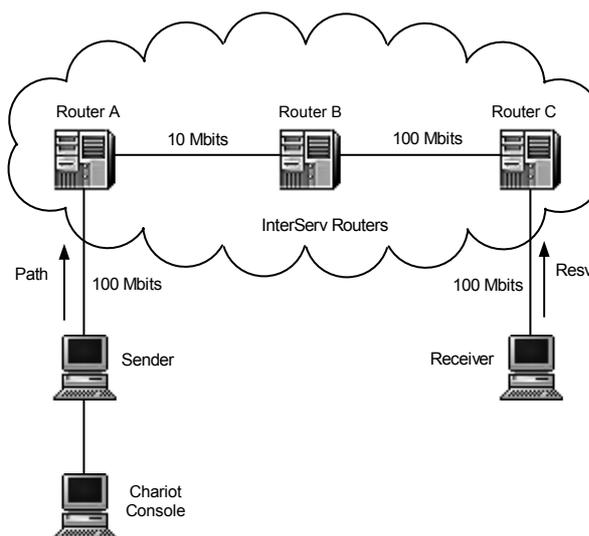
<sup>1</sup> <http://www.ietf.org/html.charters/intserv-charter.html>

## 2. Cenário de Testes

O *kernel* do sistema operativo Linux<sup>2</sup> suporta um conjunto avançado de funcionalidades de comunicação, incluindo QoS, filtragem de pacotes, integração com tecnologia ATM, etc. O suporte de QoS oferece uma infra-estrutura base para a implementação de vários modelos de QoS em IP entre os quais os modelos *Integrated Services* e *Differentiated Services*<sup>3</sup>, ambos disponíveis num módulo genericamente designado por *Controlo de Tráfego* (CT). Dada a divulgação do sistema operativo Linux e as características interessantes do módulo CT, foi esta a plataforma utilizada na realização do estudo aqui apresentado.

Na implementação em teste [Almesberg99], a disciplina *Class-Based Queuing* (CBQ) é a única disciplina de escalonamento capaz de suportar o Serviço Garantido do modelo IntServ, sendo, por este motivo, usada neste trabalho. A implementação do sistema CT disponível no sistema operativo Linux segue de muito perto o trabalho de investigação realizado por Sally Floyd, descrito nas referências [Floyd1995a, Floyd1995b, Floyd1996, Floyd97e Floyd1998].

A plataforma de teste para a avaliação da implementação, em Linux, do Serviço Garantido do modelo IntServ encontra-se representada na Figura 1. Esta plataforma consiste de uma rede IntServ extremo-a-extremo interligando dois sistemas terminais através de três encaminhadores, com capacidades de IntServ/RSVP, interligados em série (Router A, Router B e Router C).



**Figura 1.** Plataforma utilizada na experimentação.

Todas as máquinas, à exceção da Consola Chariot que corre em ambiente Windows, correm o sistema operativo Linux, RedHat 5.2, com *kernel* versão 2.2.8. Para tornar possível a realização de medições de atrasos nas filas de espera e a realização de algumas estatísticas básicas foram realizadas algumas alterações ao *kernel*, na parte correspondente à disciplina CBQ. Em todas as máquinas da plataforma de teste foi instalado o protocolo RSVP versão 4.2a4 do ISI<sup>4</sup>. Nos encaminhadores foram instalados e configurados os módulos de Controlo de Tráfego para, em conjunto com o RSVP, suportem os serviços do modelo IntServ.

No que diz respeito à geração e medição de tráfego para o Serviço Garantido, foi procurada uma aplicação que permitisse gerar tráfego de um leque variado de aplicações de tempo real com

<sup>2</sup> <ftp://linux.wauug.org/pub/net/ip-routing/ip-route2-current.tar.gz>.

<sup>3</sup> <http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>

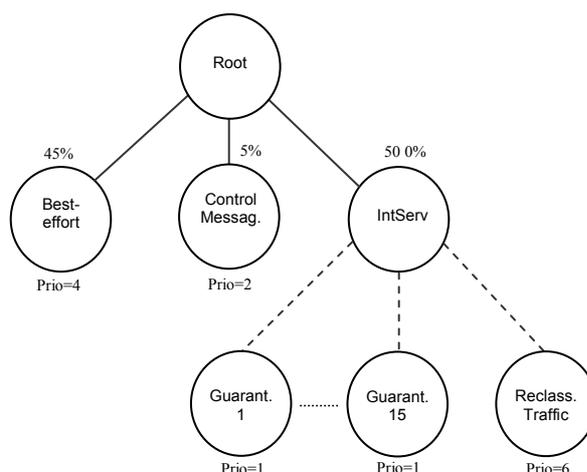
<sup>4</sup> ISI- Information Sciences Institute of the University of Southern California - <http://www.isi.edu>

requisitos de QoS, nomeadamente áudio e vídeo. Esta aplicação deveria também ter capacidades de gerar tráfego TCP e UDP, constante ou com períodos de rajada (tráfego *bursty*). A aplicação *Chariot*<sup>5</sup> disponível no laboratório verificou os requisitos enumerados pelo que foi escolhida, tendo sido instalada na máquina denominada por Consola Chariot. A geração de tráfego *best-effort*, necessária para carregar a rede em alguns dos testes efectuados, foi realizada na máquina emissora pela aplicação *Mgen*<sup>6</sup>, geradora de tráfego UDP.

Para a avaliação da capacidade de os encaminhadores do cenário de teste suportarem o Serviço Garantido do modelo IntServ, foi necessário capturar e analisar um conjunto de parâmetros, concretamente: os três parâmetros de QoS que reflectem as características do Serviço Garantido (atraso máximo de *queuing*, taxa de perdas e largura de banda), o número de pacotes em espera na fila, o número de pacotes reclassificados e vários outros parâmetros de importância secundária.

O *software* de nível de utilizador *tc*, utilizado para comunicação e configuração do módulo de Controlo de Tráfego do *kernel*, dispõe de um conjunto de funcionalidades que permite a avaliação de alguns destes parâmetros. Contudo, a informação não é apresentada em tempo real, o que seria inaceitável para a medição de parâmetros como o atraso de *queuing*. Por este motivo, o *kernel* foi modificado de modo a permitir a medição destes valores em tempo real. A medição da largura de banda atribuída a cada um dos fluxos em cada instante foi realizada, em cada uma das máquinas Linux, através da aplicação *tft*<sup>7</sup>.

A disciplina *Class-Based Queing (CBQ)* foi activada e configurada em todas as interfaces de saída dos encaminhadores. A estrutura de partilha de ligação configurada é mostrada na Figura 2.



**Figura 2.** Estrutura de partilha de ligação utilizada nas interfaces.

A largura de banda total da interface foi dividida da seguinte forma: 45% da capacidade total da ligação foi atribuída ao tráfego *best-effort*; 5% ao tráfego de controlo do RSVP e 50% ao tráfego com QoS. Os fluxos com reserva de recursos para o Serviço Garantido partilham a largura de banda atribuída às classes IntServ. Existe uma classe para cada um destes fluxos, sendo-lhe atribuída a prioridade máxima (prioridade 1). É importante notar-se que a interface de saída do Router A (ver Figura 1) foi configurado para 10 Mbps de modo a constituir um estrangulamento na rede, facilitando a criação de uma situação de congestão.

<sup>5</sup> Pacote Chariot da NetIQ - <http://www.netiq.com/>

<sup>6</sup> Mgen - Multi-generator disponível em <http://www.iihe.ac.be/mice-nsc/ftp/util/MGEN>

<sup>7</sup> tft - Tele Traffic Tapper – disponível em <http://www.csl.sony.co.jp/~kjc/software.html#tft>

### 3. Experiências realizadas

Como foi referido anteriormente, os objectivos deste trabalho são a análise da escalabilidade de uma implementação do Serviço Garantido do modelo IntServ no Sistema Operativo Linux. Este trabalho enquadra-se num trabalho de âmbito mais vasto em curso no LCT que visa a avaliação completa da implementação Linux do Serviço Garantido do modelo IntServ.

Foram realizados três grupos de experiências para três tamanhos de pacotes, respectivamente: 1500 bytes (tamanho máximo suportado em redes locais de tecnologia Ethernet), 256 bytes (tamanho médio) e 64 bytes (tamanho reduzido). Em cada grupo de experiências foi variado o número de fluxos activos e avaliado o comportamento dos fluxos do Serviço Garantido na presença de tráfego *best-effort*, em situação de carga elevada.

A gama de variação do número de fluxos do Serviço Garantido foi condicionada pela implementação em estudo, que suporta um número máximo de 15 fluxos. Deste modo, considerou-se uma gama de valores compreendida entre 4 e 14 fluxos do Serviço Garantido, com escalões intermédios de 6, 8, 10 e 12 fluxos.

Nos vários grupos de experiências houve a preocupação de o tráfego de tempo real não exceder 50% da largura de banda da ligação (5 Mbps). Para facilitar a análise dos resultados dos testes, consideraram-se diferentes reservas de largura de banda para cada um dos fluxos do Serviço Garantido, numa gama de valores compreendida entre os 0,11 e 0,52 Mbps, com intervalos de 0,03 Mbps, com excepção do último fluxo cuja reserva foi limitada pelo controlo de admissão (os valores considerados encontram-se na Tabela 1 – Secção 3.2).

A carga total injectada na rede manteve-se constante nos vários grupos de experiências com um valor de 10 Mbps, sendo a carga do tráfego *best-effort* ajustada à medida que o número de fluxos para o Serviço Garantido foi aumentado. Houve também a preocupação da quantidade total de tráfego que atravessava o encaminhador nunca exceder os 10 Mbps (um valor ligeiramente superior à capacidade real da ligação onde reside o estrangulamento). A geração de tráfego *best-effort* foi sempre iniciada a seguir à geração de tráfego do Serviço Garantido. Nestas condições foram recolhidos os atrasos máximos em fila de espera e calculadas as taxas de perda de pacotes dos fluxos de tempo real e do tráfego *best-effort*. Foi também medida a largura de banda atribuída a cada instante a cada um destes fluxos.

Os resultados recolhidos e tratados são os relativos ao encaminhador onde existe o “estrangulamento” devido ao débito da interface de saída (RouterA) e referem-se a todos os fluxos presentes nas experiências: fluxos para o Serviço Garantido, fluxo *best-effort* e fluxo do tráfego de controlo RSVP. Nos restantes encaminhadores da rede de teste são usadas interfaces a 100 Mbps o que faz com que todo o tráfego, incluindo o *best-effort*, seja despachado sem atraso e perdas nas filas.

#### 3.1 Testes com pacotes de 1500 bytes

Neste grupo de experiências todos os fluxos gerados (*best-effort* e do Serviço Garantido) foram constituídos por pacotes de 1500 bytes que corresponde ao máximo suportado em redes locais de tecnologia Ethernet.

As Figuras 3 e 4 apresentam os valores obtidos para a taxa de perdas de pacotes e atraso máximo em fila de espera sofrido pelos pacotes para um número variável de fluxos do Serviço Garantido no RouterA, respectivamente.

A análise da Figura 3 mostra que os fluxos com reserva para o Serviço Garantido não sofreram quaisquer perdas, mesmo na presença de um grande número de fluxos activos. Os resultados obtidos sugerem que, nas condições dos testes, a implementação do Serviço Garantido avaliada satisfaz um dos requisitos impostos pelas aplicações que requerem este tipo de serviço, ou seja, a não ocorrência de perdas.

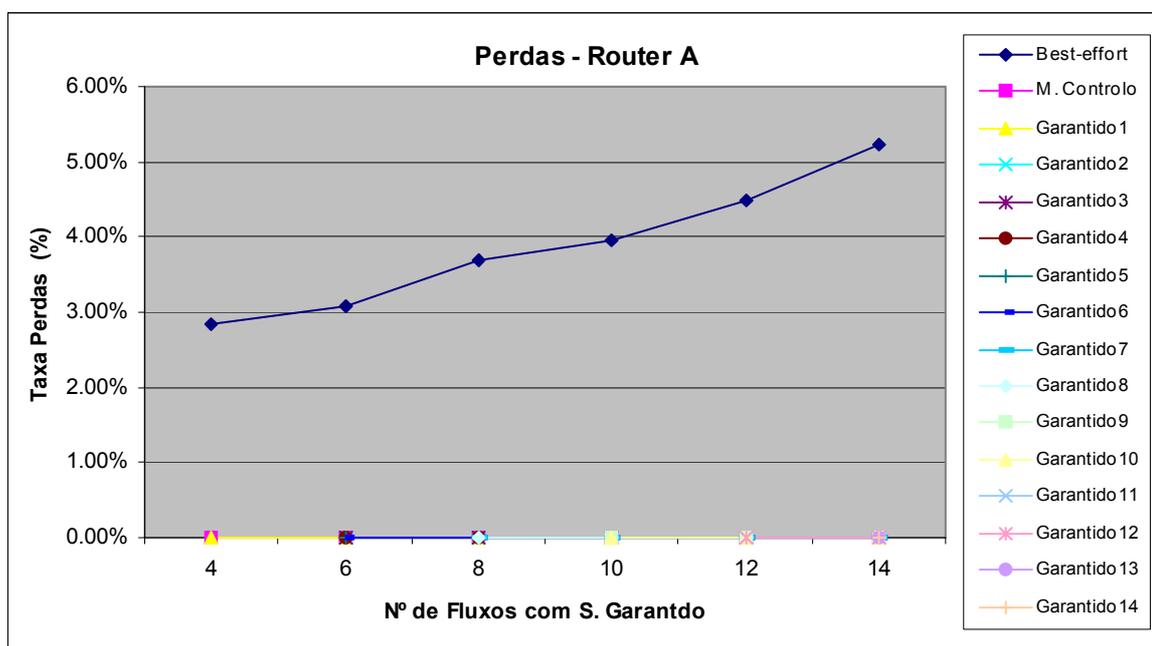


Figura 3. Taxa de perdas com pacotes de 1500 bytes.

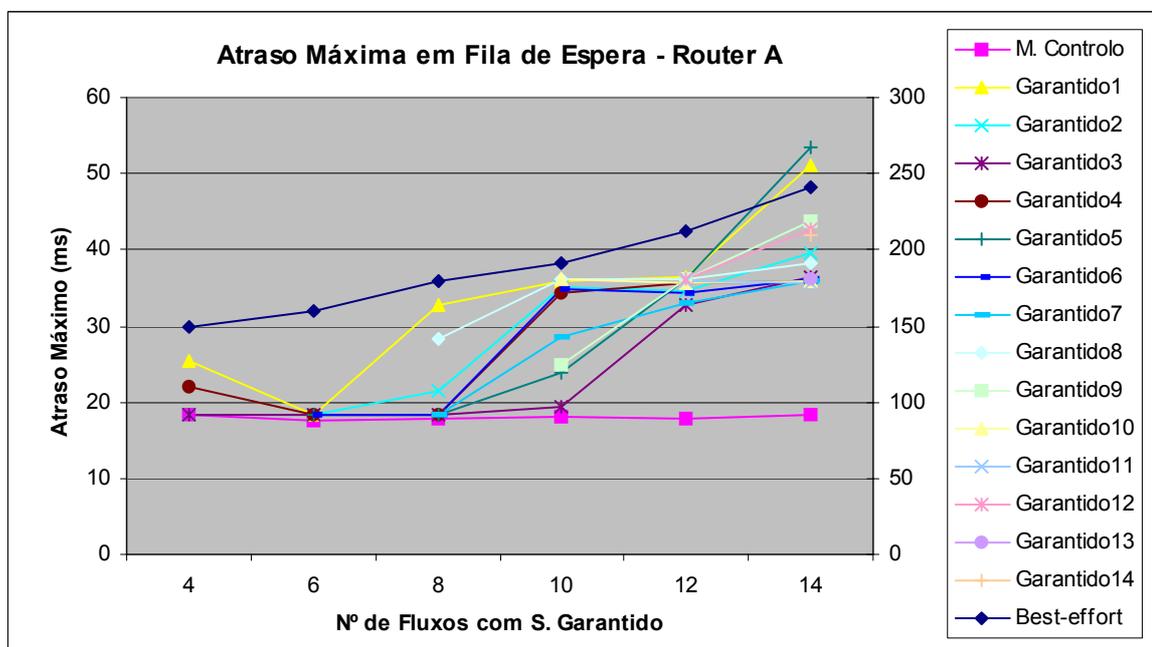


Figura 4. Atraso máximo em fila de espera com pacotes de 1500 bytes.

Verifica-se ainda que, embora a carga total se tenha mantido constante, se registou um acréscimo significativo da percentagem de pacotes *best-effort* eliminados, à medida que o número de fluxos com serviço Garantido presentes na rede aumentou. Esta perda de pacotes *best-effort* é justificada pelo facto dos fluxos de prioridade mais baixa só serem servidos após os fluxos de prioridade mais

alta. Nestas situações, o escalonador gastará mais tempo de processamento nos fluxos de prioridade mais alta, degradando o desempenho do tráfego *best-effort*.

A observação da Figura 4 mostra que o atraso máximo de armazenamento experimentado pelos fluxos com Serviço Garantido (valores no eixo da esquerda), aumenta com o número de fluxos activos contribuindo para a degradação do serviço. O desempenho do tráfego *best-effort* (valores no eixo da direita) é também afectado (prejudicado) pela existência de um número mais alto de fluxos do Serviço Garantido. Este facto é ainda mais significativo, uma vez que a degradação ocorre para cargas mais pequenas de tráfego *best-effort*.

As garantias dadas relativamente à largura de banda também foram avaliadas de acordo com as condições de teste descritas nesta secção. Verificou-se que, quando o número de fluxos de tempo real é elevado nem todos os fluxos com serviço garantido recebiam a largura de banda que lhes foi previamente reservada. Embora esta garantia não fosse satisfeita na totalidade, a diferença é ainda mínima permitindo que não se verificassem perdas. Esta diferença é justificada pela sobrecarga do escalonamento dos pacotes de tempo real que, quando o número de sessões de tempo real é elevado, pode diminuir a largura de banda efectiva.

### 3.2 Testes com pacotes de 256 bytes

Uma vez que as aplicações utilizadoras do Serviço Garantido geram, na sua generalidade, pacotes de pequeno tamanho (áudio e vídeo em tempo real), resolveu-se avaliar o impacto da variação do tamanho dos pacotes no comportamento a cada um dos fluxos do Serviço Garantido e também o efeito sobre o tráfego *best-effort*. Assim, foram repetidos os testes apresentados na Secção 3.2, com tamanhos de 256 bytes para os fluxos do Serviço Garantido, mantendo pacotes de 1500 bytes para o tráfego *best-effort*. Os resultados obtidos para a taxa de perdas e para o atraso em fila de espera são apresentados na Figura 5 e Figura 6 respectivamente.

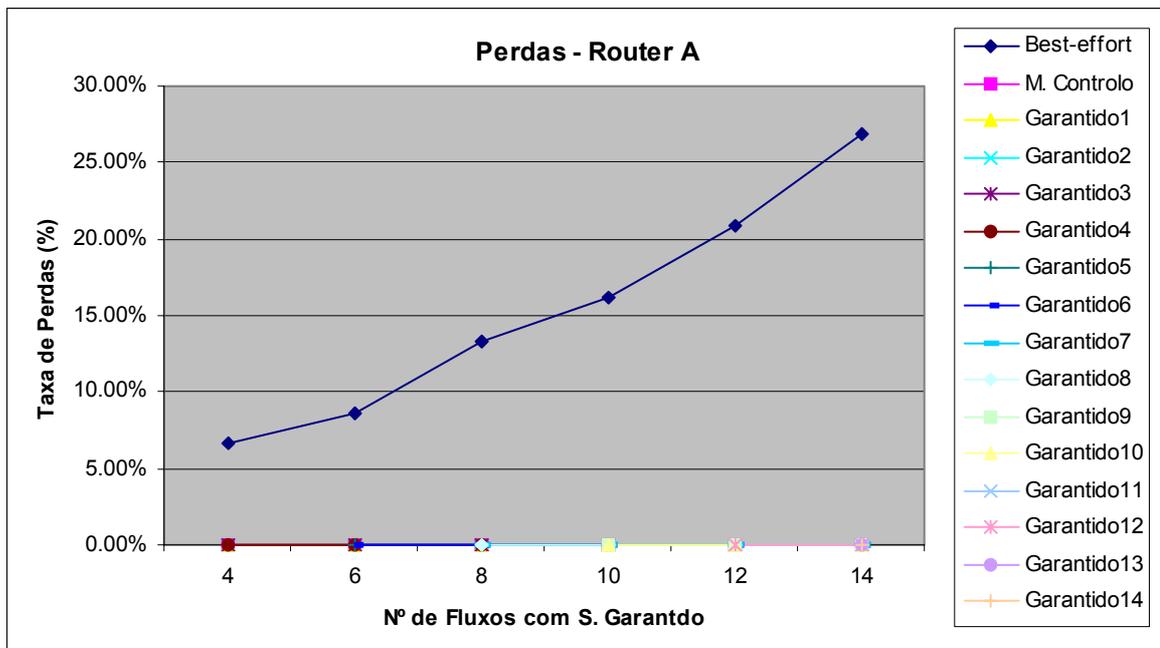
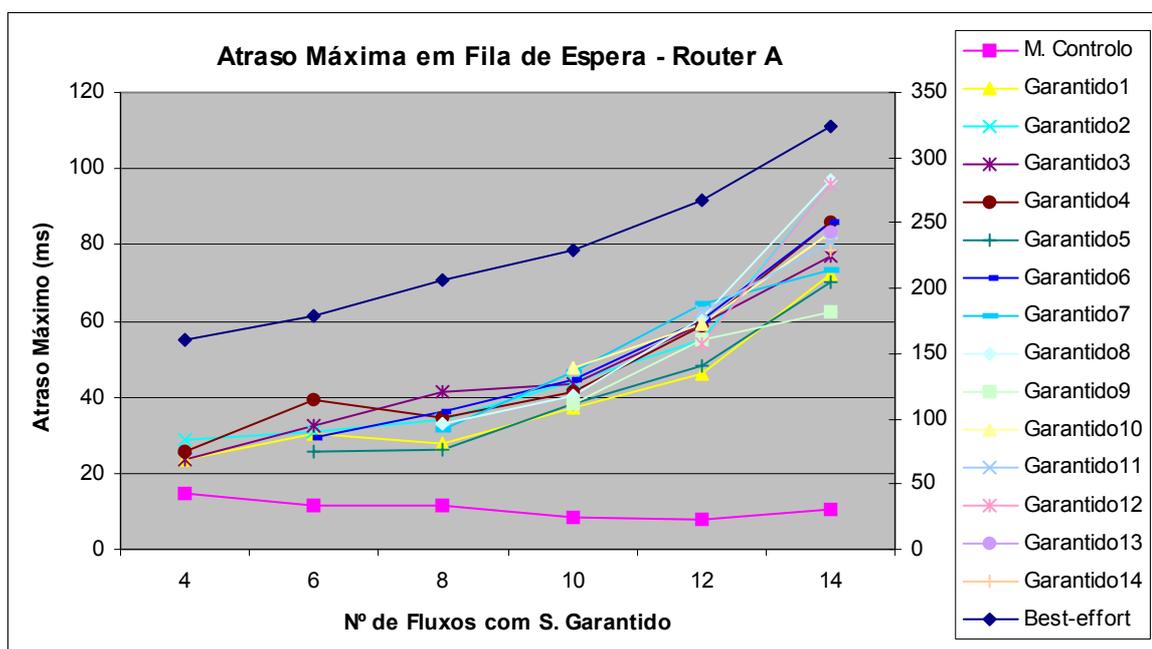


Figura 5. Taxa de perdas com pacotes de 256 bytes.

A Figura 5 mostra que, tal como acontece para fluxos de tempo real com pacotes de 1500 bytes, os fluxos com do Serviço Garantido não sofreram quaisquer perdas, mesmo na presença do número

máximo de fluxos em teste (14 fluxos). Contudo, e contrariamente ao caso anterior em que as filas se encontravam vazias quase 100% do tempo, quando utilizados pacotes de 256 bytes, verifica-se um aumento de pacotes nas filas para todos os fluxos do Serviço Garantido (média de 20 pacotes por fila). Igualmente, a figura mostra que, para a mesma carga total na rede, se regista um acréscimo dos pacotes *best-effort* eliminados, à medida que o número de fluxos aumenta. A comparação com as figuras 3 e 5 permite verificar que, para o mesmo número de fluxos presentes na rede, a percentagem de pacotes *best-effort* eliminados é muito superior quando são utilizados pacotes de 256 bytes.

No que diz respeito ao atraso máximo em fila de espera, a Figura 6 mostra um acréscimo de atraso em todos os fluxos do Serviço Garantido e também para o fluxo *best-effort*, sendo o acréscimo de atraso mais elevado quando está presente um maior número de fluxos.



**Figura 6.** Atraso máximo em fila de espera com pacotes de 256 bytes.

Também neste caso foram avaliadas as garantias dadas relativamente à largura de banda. Verificou-se mais uma vez que, na presença de um número mais elevado de fluxos do Serviço Garantido, alguns deles não recebiam a largura de banda que lhe foi previamente reservada. Estas flutuações de largura de banda podem ser justificadas pela ocupação do escalonador nos fluxos do Serviço Garantido a processar um número crescente de pacotes quando estes fluxos são constituídos por pacotes de menor tamanho. Ou seja, a presença de um maior número de pacotes para as filas de tempo real, embora a carga seja a mesma, implica um maior processamento computacional por parte do escalonador que serve estas filas.

### 3.2 Testes com pacotes de 64 bytes

Embora, nos testes anteriores, os requisitos de QoS para os fluxos que requereram o Serviço Garantido tenham sido geralmente assegurados, a visível degradação do serviço sugere que, para pacotes de tamanho inferior para fluxos deste tipo, estes requisitos possam não ser satisfeitos na sua totalidade. Para se testar esta hipótese, foram novamente repetidos os testes apresentados nas secções anteriores mas agora utilizando pacotes de 64 bytes. Dessa forma foi possível verificar inequivocamente a falta de capacidade da implementação para assegurar os requisitos dos fluxos do

Serviço Garantido. Os resultados são apresentados nas figuras 7 e 8 e mostram que a hipótese formulada se verifica.

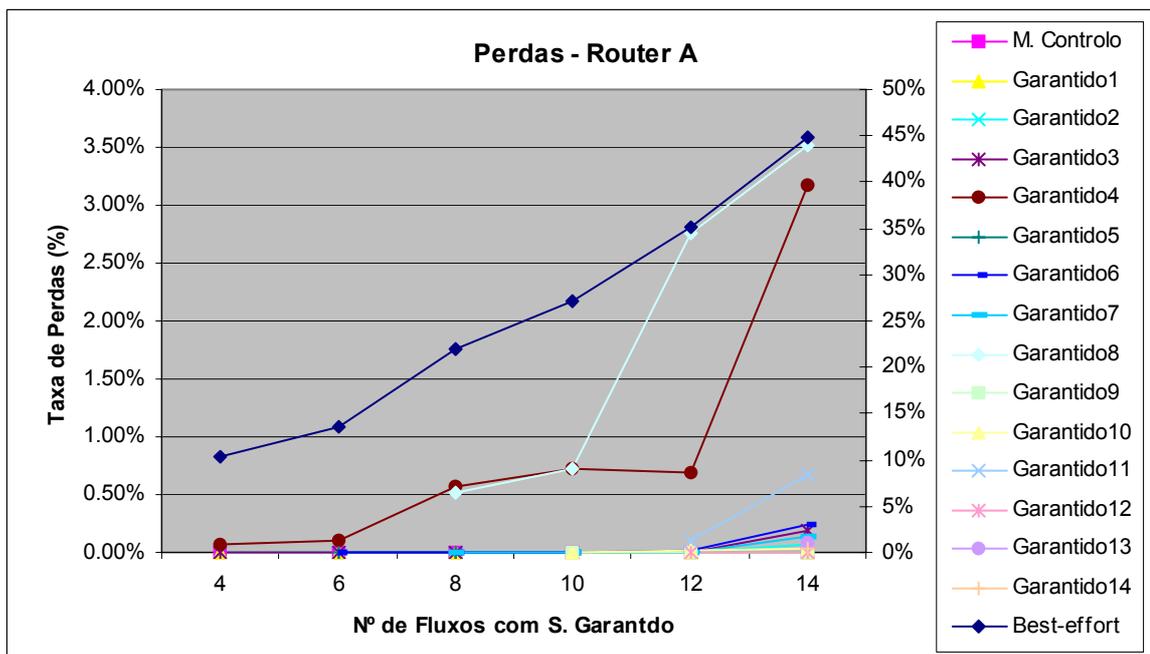


Figura 7. Taxa de perdas com pacotes de 64 bytes.

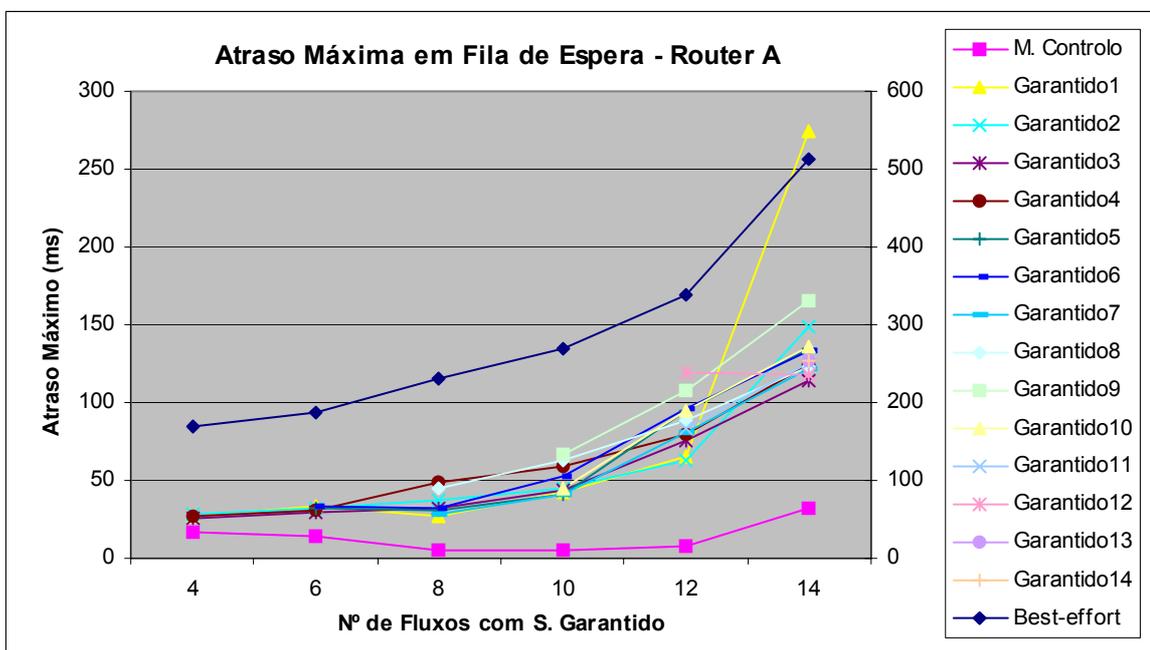
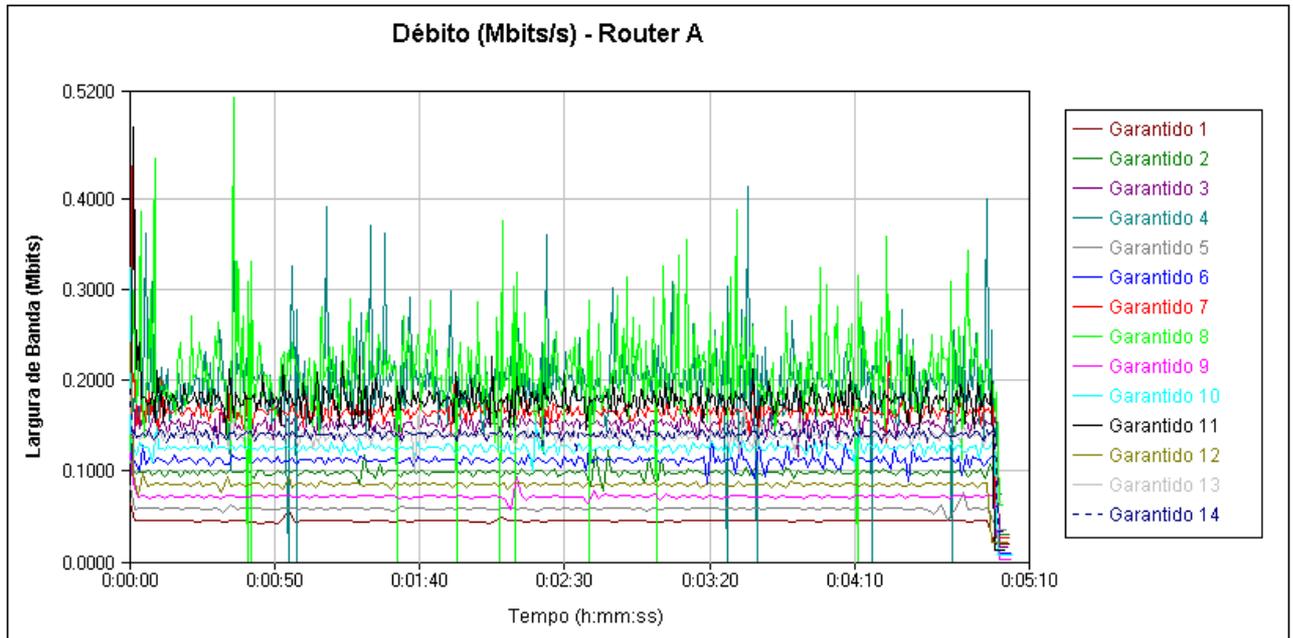


Figura 8. Atraso máximo em fila de espera com pacotes de 64 bytes.

A observação das figuras 7 e 8 e a sua comparação com as figuras dos testes anteriores sugere que o número de fluxos do Serviço Garantido presentes em simultâneo na rede deve ser limitado sob pena de não serem respeitados os requisitos do serviço. Tal como acontece nos testes anteriores, para o tráfego dos fluxos do Serviço Garantido e também do tráfego *best-effort* verifica-se um aumento significativo do atraso à medida que aumenta o número de fluxos presentes, ainda que a carga presente na rede se tenha mantido constante.

Contudo, e contrariamente aos testes anteriores, a Figura 7 mostra a ocorrência de perda de pacotes nos fluxos do Serviço Garantido. A perda de pacotes, ainda que para um número reduzido de fluxos do Serviço Garantido, é bem patente a partir de 6 fluxos activos, sendo generalizada na situação em que estão presentes 14 fluxos. É ainda de salientar que os fluxos do Serviço Garantido que registaram uma maior taxa de perdas foram os fluxos com maior reserva de largura de banda.



**Figura 9.** Largura de Banda com pacotes de 64 bytes.

No que diz respeito às garantias de largura de banda, a Figura 9 mostra que, tal como nos testes anteriores, na presença de um número mais elevado de fluxos do Serviço Garantido, estes fluxos não recebem a largura de banda que lhe foi previamente reservada (os valores reservados constam da Tabela 1), sendo neste caso uma diferença mais significativa.

Fluxos com Serviço Garantido	Reserva de Largura de Banda (Mbps)
Garantido1	0,11
Garantido2	0,24
Garantido3	0,36
Garantido4	0,49
Garantido5	0,14
Garantido6	0,27
Garantido7	0,40

Fluxos com Serviço Garantido	Reserva de Largura de banda (Mbps)
Garantido8	0,52
Garantido9	0,17
Garantido10	0,30
Garantido11	0,43
Garantido12	0,20
Garantido13	0,33
Garantido14	0,34

**Tabela 1.** Reservas de largura de banda.

#### 4. Avaliação dos Resultados

A análise dos resultados dos testes apresentados na secção anterior permite fazer algumas considerações importantes sobre a capacidade, o desempenho e a escalabilidade no suporte de fluxos do Serviço Garantido do modelo IntServ por encaminhadores Linux.

Da análise dos resultados é evidente que o atraso máximo em fila de espera dos fluxos do Serviço Garantido e do tráfego *best-effort* tem um aumento significativo à medida que aumenta o número de fluxos presentes. Este aumento é bastante mais significativo com pacotes de pequena dimensão têm relativamente às situações em que são utilizados pacotes de maior dimensão.

Os resultados obtidos permitem ainda evidenciar um aspecto importante: o serviço oferecido a um conjunto de fluxos do Serviço Garantido é degradado com o aumento da presença de fluxos com requisitos semelhantes, sendo violados os requisitos definidos pelo RFC 2212 [Shenker1997] para o Serviço Garantido (débito garantido, atraso limitado e ausência de perdas).

Outro facto evidenciado, e que vai também contra a especificação do Serviço Garantido, é o tamanho da fila atribuído pelos módulos de controlo de tráfego a cada um dos fluxos deste serviço. É fixado um tamanho máximo de 100 pacotes por fila (tal como no tráfego *best-effort*), sendo desprezado o tamanho de *buffer* reservado pelo RSVP. Este facto justifica, de alguma forma, as perdas registadas para os fluxos do Serviço Garantido com pacotes de pequena dimensão. Sendo o comprimento das filas fixado em número de pacotes em lugar de bytes, para a mesma carga, com pacotes pequenos, são gerados mais pacotes, ficando as filas cheias mais rapidamente.

Os resultados obtidos permitiram também verificar, que a diminuição do tamanho dos pacotes nos fluxos do Serviço Garantido tem um reflexo negativo no desempenho do escalonador. A falta de capacidade do escalonador no suporte de fluxos do Serviço Garantido pode ser justificada pela sobrecarga de processamento computacional inerente a um grande número de pacotes, conduzindo desta forma a uma diminuição da largura de banda efectiva, ao aumento do atraso em fila de espera e, em casos extremos, à ocorrência de perdas. Estes efeitos podem ser minorados em parte, delegando ao controlo de admissão a tarefa de contabilizar (ter em conta) esta sobrecarga nas suas decisões.

Dos testes realizados pode, finalmente, concluir-se de forma inequívoca, que existe uma relação entre o tamanho dos pacotes que constituem os fluxos do Serviço Garantido e a capacidade do conjunto de mecanismos de controlo de tráfego que implementam a disciplina CBQ para suportar estes fluxos.

Os resultados obtidos neste conjunto de experiências permitem estabelecer pontos de referência, para a avaliação num ambiente real e de área alargada. Permitem-nos, também, antever algumas limitações da implementação em Linux do modelo IntServ em ambientes de larga escala e quando utilizada no suporte de um número grande de fluxos, apresentando-se como uma solução pouco escalável.

## **5. Conclusões e Trabalho Futuro**

Neste trabalho foi apresentado um estudo de escalabilidade à implementação do Serviço Garantido do modelo IntServ no Sistema Operativo Linux. Foram apresentados e discutidos resultados que mostram alguma incapacidade dos módulos de controlo de tráfego em garantir os requisitos de QoS na presença de diversos fluxos de pacotes de tamanho reduzido.

O trabalho futuro incluirá a realização de novas experiências usando outras disciplinas em alternativa à disciplina CBQ, assim como, em outras arquitecturas para suportar o Serviço Garantido. A concretização destas experiências passará, em primeiro lugar, pela realização de alterações à implementação do RSVP para Linux, uma vez que esta está apenas apta para funcionar em conjunto com a disciplina CBQ no suporte dos serviços especificados pelo modelo IntServ. Outra questão em aberto será a integração com uma rede DiffServ actualmente em estudo no IETF [Bernet2000]. Dadas as potencialidades destes dois modelos, a sua integração pode ser uma potencial solução para o suporte, extremo-a-extremo na Internet, de aplicações com necessidades de QoS, facilitando a generalização de aplicações como a telefonia IP, *Video-on-demand* e várias outras aplicações com necessidades de tempo real.

Os resultados apresentados neste artigo foram realizados numa rede experimental relativamente pequena e com ligações de baixo débito. Devido às características do ambiente de trabalho, foram consideradas cargas baixas quando comparadas com redes reais. A realização de experiências usando uma rede de área alargada e débitos mais elevados será também objecto de trabalho futuro.

## Agradecimentos

Trabalho parcialmente financiado pelo programa de investigação POSI do Ministério da Ciência e Tecnologia (Projecto QoSII).

## Referências

- [Almesberg99] Werner Almesberg, “Linux Traffic Control – Implementation Overview”, Abril 1999.
- [Bernet2000] Y. Bernet et al, “A Framework for Integrated Services Operation over DiffServ Networks”, RFC 2998, Novembro 2000.
- [Braden1994] B. Braden, S. Shenker, “*Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview*”, RFC 1633, Internet Engineering Task Force, Junho 1994.
- [Braden1997] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, “Resource ReReservation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification”, RFC 2205, Setembro 1997.
- [Floyd1995a] S. Floyd, V. Jacobson, “Link-sharing and Resource Management Models for Packet Networks”, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 3 No. 4, pp. 365-386, Agosto 1995.
- [Floyd1995b] S. Floyd, “Notes on CBQ and Guaranteed Service” Draft document, Julho 1995.
- [Floyd1996] S. Floyd, “Notes of Class-Based Queueing: Setting Parameters”, Informal notes, Setembro 1996.
- [Floyd97] – S. Floyd, “Ns simulator tests for class-based queueing”, Draft não publicado, Abril 1997. <ftp://ftp.ee.lbl.gov/papers/cbqsims.ps.Z>
- [Floyd1998] S. Floyd, M. Speer, “Experimental Results for Class-Based Queueing”, não publicado, Setembro 1998.
- [Reis2001] E. Reis, F. Melo, M. Oliveira, G. Quadros, E. Monteiro, “Quality of Service on the Internet: Analysis of the IntServ Guaranteed Service on the Linux Operative System”, ConfTele 2001, pp. 528-532, Abril 2001.
- [Shenker1997] S. Shenker, C. Partridge, R. Guérin, “Specification of Guaranteed Quality of Service”, Internet Engineering Task Force, Network Working Group, RFC 2212, Setembro 1997.
- [Wroclawski1997] J. Wroclawski, “Specification of the Controlled-load Network Element Service”, Internet Engineering Task Force, Network Working Group, RFC 2211, Setembro 1997.